

**CERTIFICATE OF MAILING BY FIRST CLASS MAIL (37 CFR 1.8)**

**Applicant(s):** Wurdack et al.

Docket No.

90221

Application No.

**10/619,276**

Filing Date

**July 14, 2003**

MAR 18 2005

Examiner

## R. Aurora

Customer No.

24628

### Group Art Unit

2862

**Invention: Device And Method For Determining The Sheet Resistance Of Samples**

I hereby certify that this **Submission of Priority Document**

(Identify type of correspondence)

is being deposited with the United States Postal Service with sufficient postage as first class mail in an envelope

addressed to "Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450" [37 CFR 1.8(a)] on

**March 14, 2005**

(Date)

**Eric D. Cohen, Registration No. 38,100**

(Typed or Printed Name of Person Mailing Correspondence)

(Signature of Person Mailing Correspondence)

**Note: Each paper must have its own certificate of mailing.**

Submission of Priority Document; Certified Copy of German Patent Application No. 102 31 989.8; and Postcard.

90221



PATENT APPLICATION

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:  
Wurdack et al.

Serial No.: 10/619,276

Conf. No. 6324

Filed: July 14, 2003

For: Device And Method For Determining The  
Sheet Resistance Of Samples

Examiner: R. Aurora

Art Unit: 2862

CERTIFICATE OF MAILING

I hereby certify that this paper is being deposited with the United States Postal Service as First-Class Mail in an envelope addressed to: Office Of Initial Patent Examinations, P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313 on this date.

03-14-05

Date Eric B. Cohen  
Reg. No. 38,110

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Commissioner for Patents and Trademarks  
P.O. Box 1450  
Alexandria, Virginia 22313-1450

Sir or Madam:

Applicant respectfully submits a certified copy of German Patent Application No. 102 31 989.8 as the priority document in the above-identified application. Please make this submission of record.

The Commissioner is hereby authorized to charge any additional fee, which may be required for this application under 37 C.F.R. §§ 1.16-1.17, or credit any overpayment, to Deposit Account No. 23-0920. Should no proper amount be enclosed herewith, as by a check being in the wrong amount, unsigned, post-dated, otherwise improper or informal, or even entirely missing, the Commissioner is

authorized to charge the unpaid amount to Deposit Account No. 23-0920. A duplicate copy of this sheet(s) is enclosed.

Respectfully submitted,

WELSH & KATZ, LTD.

By



Eric D. Cohen

Registration No. 38,110

March 14, 2005  
WELSH & KATZ, LTD.  
120 South Riverside Plaza  
22nd Floor  
Chicago, Illinois 60606  
Tele: (312) 655-1500  
Fax: (312) 655-1501

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 31 989.8

**Anmeldetag:** 15. Juli 2002

**Anmelder/Inhaber:** Dr. Stefan Wurdack, 85598 Baldham/DE;  
Klaus Topp, 85457 Wörth/DE.

**Bezeichnung:** Vorrichtung und Verfahren zum Bestimmen eines  
Flächenwiderstands von Proben

**IPC:** G 01 N, G 01 R

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. Februar 2005  
Deutsches Patent- und Markenamt

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

Der Präsident  
Im Auftrag

  
Wehner

Unser Zeichen: G1494 DE  
Wurdack, Stefan; Topp, Klaus  
Deutschland

VOSSIUS & PARTNER  
PATENTANWÄLTE  
SIEBERTSTR. 4  
81675 MÜNCHEN

15. Juli 2002

## **Vorrichtung und Verfahren zum Bestimmen eines Flächenwiderstands von Proben**

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Bestimmen eines Flächenwiderstands von Proben, insbesondere Wafern und anderen flächigen Teilen.

Eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Bestimmen des Flächenwiderstandes einer dünnen Halbleiterschicht durch Messen der Leitfähigkeit der Probe nach dem Wirbelstromverfahren ist aus G.L. Miller et al., „Contactless measurement of semiconductor conductivity by radiofrequency-free-carrier power absorption“ in Review of Scientific Instruments Band 47, Nr. 7, Juli 1976, Seiten 799-805 bekannt. Darin wird beschrieben, daß die Energie, die durch eine dünne Halbleiterschicht in einem magnetischen Wechselfeld absorbiert wird, proportional zu der Leitfähigkeit des Materials ist.

Durch die magnetischen Wechselfelder in der offenen Schwingkreisanordnung gemäß Fig. 1 werden Wirbelströme im leitfähigen Messobjekt 1 (hier ein Wafer) erzeugt. Diese Ströme entziehen dem Magnetfeld Energie. Verwendet man eine geeignete Oszillatorschaltung, welche die Schwingkreisamplitude konstant hält, so kann man durch die Messung der sich verändernden Stromaufnahme des Schwingkreises Rückschlüsse auf die Leitfähigkeit der eingeführten Probe ziehen.

Vereinfacht gilt der folgende Zusammenhang zwischen dem Flächenwiderstand  $R_{\text{Square}}$  und der Stromänderung bei Einbringen der Probe  $\Delta I$

$$R_{\text{Square}} = \frac{K}{\Delta I} \quad (1),$$

wobei  $K$  eine Proportionalitätskonstante ist. Die gemessenen Stromänderungen sind also um so größer, je niederohmiger das Messobjekt ist.

Es hat sich in neuer Zeit herausgestellt, dass Messfehler bei diesem Verfahren auftreten, die durch Vergleiche mit der berührenden Vier-Spitzen-Messung des Flächenwiderstands bestimmt werden können.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren zum genaueren und zuverlässigeren Bestimmen des Flächenwiderstands von Proben, insbesondere Wafern und anderen flächigen Teilen, bereitzustellen.

Die Aufgabe wird durch die in den Ansprüchen enthaltenen Merkmale gelöst.

Erfindungsgemäß wird zur Messung eines Flächenwiderstandes von Proben nicht nur die Leitfähigkeit der Probe nach dem Wirbelstromverfahren, sondern auch die Lage der Probe im Messspalt bestimmt. Somit kann die Inhomogenität der Magnetfeldverteilung im Messspalt berücksichtigt und die Genauigkeit der Messung durch Korrekturen erhöht werden.

Der einfache und idealisierte Zusammenhang (1) gestaltet sich in der Realität deutlich komplizierter, da hier die geometrieabhängigen Einflüsse des jeweiligen Messaufbaus für die tatsächlich gewonnenen Messwerte verantwortlich sind. Es gilt der folgende Zusammenhang zwischen dem Flächenwiderstand  $R_{\text{Square}}$  und der gemessenen Stromänderung  $\Delta I$ :

$$R_{\text{Square}} = \frac{F(z, d)}{\Delta I} \quad (2),$$

wobei  $F$  eine Korrekturfunktion ist, die von der Position des Messobjekts im Spalt  $z$  und der Dicke des Messobjekts  $d$  abhängt. Die Messung der Lage und der Dicke der Probe erfolgt vorzugsweise berührungslos, insbesondere mittels Ultraschall, kapazitiven oder optischen Verfahren.

Die Korrekturfunktion wird bevorzugt durch eine Kalibrierung der Messapparatur mit einer Probe mit einem bekannten Flächenwiderstand ermittelt. Durch Messen der Lage der Probe mit bekannter Dicke kann unter Benutzung der ermittelten Korrekturfunktion ein Korrekturfaktor bestimmt werden, mit dem das Messergebnis korrigiert werden kann

Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Figuren exemplarisch beschrieben, wobei

Fig. 1 schematisch den bekannten Aufbau zum Messen der Leitfähigkeit der Probe nach dem Wirbelstromverfahren zeigt,

Fig. 2(a) schematisch die Vorrichtung zum Bestimmen des Flächenwiderstands der Probe gemäß der vorliegenden Erfindung in symmetrischer Anordnung und Fig. 2(b) die typische Abhängigkeit der Signalamplitude von der Abweichung der Messobjektposition von der Messspaltmitte in dieser Anordnung zeigt,

Fig. 3(a) schematisch die Vorrichtung zum Bestimmen des Flächenwiderstands der Probe gemäß der vorliegenden Erfindung in asymmetrischer Anordnung und Fig. 3(b) die typische Abhängigkeit der Signalamplitude von der Abweichung der Messobjektposition von der Messspaltmitte in dieser Anordnung zeigt und

Fig. 4(a) schematisch die Vorrichtung zum Bestimmen des Flächenwiderstands der Probe gemäß der vorliegenden Erfindung in einseitiger Anordnung und Fig. 4(b) die typische Signalamplitude in Abhängigkeit des Abstands des Messobjekts von einem Ferrit-Schalenkern zeigt.

Fig. 2(a) zeigt die symmetrische Anordnung zum Bestimmen eines Flächenwiderstands einer leitfähigen Probe 1. Die Probe 1 befindet sich im Messspalt, der zwischen zwei Ferrit-Schalenkernen 21, 22 ausgebildet ist. Beide Ferrit-Schalenkerne sind mit Spulen 23, 24 ausgestattet, die zur Erzeugung des magnetischen Wechsel-

felds für die Messung des Flächenwiderstands nach dem Wirbelstromverfahren dienen. Außerdem sind Sensoren 31, 32 zur Lagenmessung des Messobjekts gezeigt, die optional auch zur Dickenmessung verwendet werden können. Der Abstand zwischen dem Ort der Wirbelstrommessung und den Sensoren zur Lagen- und/oder Dickenmessung beträgt vorzugsweise etwa 1 cm.

Der typische Verlauf der Signalamplitude, in Abhängigkeit der Messobjektposition ist in Figur 2(b) dargestellt, wobei die Signalamplitude in Prozent angegeben ist und 100% beträgt, wenn sich die Probe in der Mitte des Messspalts befindet. Der Verlauf der Signalamplitude ist symmetrisch bezüglich der mittleren Spaltposition, und zeigt im Wesentlichen ein parabelförmiges Verhalten. Bei Annäherung der Probe an einen der Schalenkerne steigt die Signalamplitude, die Energieabsorption wird also größer, und das Messobjekt scheint niederohmiger. In Abhängigkeit der Dicke der Probe ändert sich in der Regel der Verlauf der in Fig. 2(b) gezeigten Kurve. Durch Kenntnis der sich ergebenden Kurvenschar (nicht gezeigt) kann bei genauer Information über die Position bzw. Lage des Messobjekts im Spalt eine geeignete Korrekturfunktion in Abhängigkeit der Dicke des Messobjekts angegeben werden, mit der dann der korrigierte Widerstandswert unabhängig von der Position des Messobjekts im Spalt richtig angegeben werden kann.

Fig. 3(a) zeigt die asymmetrische Anordnung zum Bestimmen eines Flächenwiderstands einer Probe 1. Die Anordnung entspricht der in Fig 2(a) gezeigten Anordnung mit dem Unterschied, dass nur der untere Ferrit-Schalenkern 21 mit einer Spule 23 ausgestattet ist. Bei dieser Anordnung wird also nur der untere Ferrit-Schalenkern 21 aktiver Bestandteil des Schwingkreises, der obere Ferrit-Schalenkern 22 dient lediglich zur Führung der magnetischen Feldlinien, so daß diese möglichst geschlossen bleiben. Der Vorteil dieser Anordnung ist, daß nur eine Seite Elektronik aufweist. Allerdings kommt es bei der asymmetrischen Anordnung ohne Berücksichtigung der Lage der Probe zu besonders großen Messfehlern.

Die einseitige Anregung führt zu einer veränderten Positionsabhängigkeit des Messsignals, die in Figur 3(b) prinzipiell dargestellt wird. Die Signalamplitude in Abhängigkeit der Abweichung der Messobjektposition von der Messspaltmitte ist in



Prozent angegeben, wobei die Signalamplitude 100% beträgt, wenn sich die Probe in der Mitte des Messspalts befindet. Die Abhängigkeit der Signalamplitude von der Abweichung der Messobjektposition von der Messspaltmitte kann im Allgemeinen gut durch ein Polynom höheren Grades beschrieben werden. Der große Einfluss der Lage der Probe in der asymmetrischen Anordnung spiegelt dadurch wieder, dass sich in diesem Beispiel die Signalamplitude bei Abweichung von 1 mm von der Messspaltmitte in Richtung des aktiven, in diesem Fall unteren Ferrit-Schalenkerns 21 etwa verdreifacht (300%), während bei einer Abweichung von ebenfalls 1 mm in der anderen Richtung der Wert auf das 1,5fache (150%) weniger stark ansteigt. Im Fall der symmetrischen Anordnung ist der Anstieg bei der gleichen Abweichung wesentlich kleiner und beträgt in beide Richtungen nur auf etwa 102%.

Fig. 4(a) zeigt die einseitige Anordnung zum Bestimmen eines Flächenwiderstands einer leitfähigen Probe. Der Aufbau ist wiederum ähnlich dem in Fig. 2(a) oder Fig. 3(a) gezeigtem Aufbau, mit dem Unterschied dass die einseitige Anordnung nur einen Ferrit-Schalenkern 21 mit einer Spule 23 und einen Sensor 31 zur Lagenmessung aufweist. Bei dieser Anordnung des Messaufbaus wird also nur noch durch einen einzigen Ferrit-Schalenkern 21 die magnetische Induktion im Messobjekt erzeugt. Es ist bevorzugt, dass sich hinter dem Messobjekt keine metallisch leitenden Gegenstände befinden, da diese zu einer starken Beeinflussung des Messsignals führen könnten. Vorteil der Anordnung ist, daß keine gabelförmige Anordnung der Ferrit-Kerne notwendig ist. Dadurch kann insbesondere bei dünnen Schichten, bei denen die Lage des Messobjekts bekannt ist, durch eine einfache XY-Mechanik das flächige Abtasten der Probe ermöglicht werden. In der einseitigen Anordnung ist die Schicht vorzugsweise dünn im Verhältnis zur Variation der Empfindlichkeit der Einrichtung zum Messen der Leitfähigkeit. Die einseitige Anordnung ist insbesondere zur Untersuchung von Metallschichten geeignet.

Die typische Abhängigkeit der Signalamplitude von der Position der Probe ist in Fig. 4(b) dargestellt. Da es hier keine Spaltmitte mehr gibt, ist die Signalamplitude als Abstand des Messobjekts vom Ferrit-Kern aufgetragen. Die Signalamplitude ist in Prozent angegeben, die Signalamplitude des maximalen Signals beträgt 100%. Die

Abhängigkeit der Signalamplitude vom Abstand des Messobjekts vom Ferrit-Schalenkern hat eindeutig exponentiellen Charakter.

In allen drei gezeigten bevorzugten Ausführungsformen wird die Lage der Probe vorzugsweise berührungslos gemessen und kann insbesondere mittels Ultraschall, kapazitiven oder optischen Verfahren erfolgen. Die Messung der Lage der Probe erfolgt insbesondere durch Bestimmen der Position mindestens einer der beiden Oberflächen der Probe durch Messung des Abstands der mindestens einer Oberfläche zu dem entsprechenden Sensor zur Lagen- und gegebenenfalls Dickenmessung. Die Messung der Dicke der Probe 1 ergibt sich in diesem Fall aus der Messung des Abstands der unteren bzw. oberen Meßobjektoberfläche von dem oberen 32 bzw. unteren Sensor 31 durch Vergleich mit dem zuvor bestimmten oder festgelegten Abstand der beiden Sensoren 31, 32.

Die zur Korrektur des Messergebnisses benötigten Kurvenscharen werden bevorzugt mit Hilfe einer Eichmessung mit verschiedenen Proben bekannter Dicke und bekanntem Flächenwiderstands ermittelt, wobei die Lage der Probe im Messspalt variiert und die jeweils gemessene Leitfähigkeit aufgezeichnet wird. Die so ermittelten Korrekturfunktionen können dann im Speicher einer Recheneinrichtung gespeichert werden, die auf der Basis der gemessenen Leitfähigkeit und der Dicke der Probe und der Lage der Probe im Messspalt den Flächenwiderstand der Probe ermittelt. Vorzugsweise werden für jede Korrekturfunktion die Gleichung für die Abhängigkeit zwischen der Lage und dem Korrekturwert und die entsprechenden Koeffizienten gespeichert

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Bestimmen eines Flächenwiderstandes von Proben, insbesondere Wafern und anderen flächigen Teilen mit einer Einrichtung zum Messen der Leitfähigkeit der Probe nach dem Wirbelstromverfahren, wobei die Probe in einen Messspalt einführbar ist, und mit einer Einrichtung zum Messen der Lage der Probe im Messspalt und einer Recheneinrichtung zum Ermitteln des Flächenwiderstandes auf der Basis der gemessenen Leitfähigkeit und der Lage der Probe im Messspalt.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Einrichtung zur Messung der Lage der Probe eine Abstandsmesseinrichtung aufweist, die vorzugsweise berührungslos arbeitet, insbesondere mittels Ultraschall, kapazitiven oder optischen Verfahren.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Recheneinrichtung einen Speicher aufweist, in dem eine Funktion gespeichert ist, die bezogen auf die Lage der Probe im Messspalt bei der Berechnung des Flächenwiderstandes verwendet wird.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei im Speicher Koeffizienten der Funktion gespeichert sind, die spezifisch für einen Aufbau einer Vorrichtung ermittelt werden.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Einrichtung zum Messen der Lage der Probe mindestens an zwei Stellen, vorzugsweise benachbart insbesondere beidseits vom Ort der Messung der Leitfähigkeit, die Lage der Probe erfasst, wobei vorzugsweise an jeder Stelle ein Sensorpaar angeordnet ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, mit einer Einrichtung zum Bestimmen der Position mindestens einer der beiden Oberflächen einer Probe.
7. Verfahren zum Bestimmen eines Flächenwiderstandes von Proben, insbesondere Wafern und anderen flächigen Teilen mit den Schritten: Messen der Leitfähigkeit der Probe nach dem Wirbelstromverfahren, wobei die Probe in einen Messspalt einführbar ist, Messen der Lage der Probe im Messspalt und Ermitteln des

Flächenwiderstandes auf der Basis der gemessenen Leitfähigkeit und der Lage der Probe im Messspalt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei der Schritt Messen der Lage der Probe eine Abstandsmessung aufweist, die vorzugsweise berührungslos erfolgt, insbesondere mittels Ultraschall, kapazitiven oder optischen Verfahren.
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, wobei der Schritt Ermitteln des Flächenwiderstandes eine gespeicherte Funktion verwendet, und der eine Berechnung des Flächenwiderstandes bezogen auf die Lage der Probe im Messspalt aufweist.
10. Verfahren nach Anspruch 9, mit dem Schritt Verwenden von gespeicherten Koeffizienten der Funktion, die spezifisch für einen Aufbau einer Vorrichtung ermittelt werden.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, wobei der Schritt Messen der Lage der Probe mindestens an zwei Stellen durchgeführt wird, vorzugsweise benachbart insbesondere beidseits vom Ort der Messung der Leitfähigkeit.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, mit dem Schritt Bestimmen der Position mindestens einer der beiden Oberflächen einer Probe.

## Zusammenfassung

### **Vorrichtung und Verfahren zum Bestimmen eines Flächenwiderstands von Proben**

Vorrichtung und Verfahren zum Bestimmen eines Flächenwiderstandes von Proben, insbesondere Wafern und anderen flächigen Teilen mit einer Einrichtung zum Messen der Leitfähigkeit der Probe nach dem Wirbelstromverfahren, wobei die Probe in einen Messspalt einführbar ist, und mit einer Einrichtung zum Messen der Lage der Probe im Messspalt und einer Recheneinrichtung zum Ermitteln des Flächenwiderstandes auf der Basis der gemessenen Leitfähigkeit und der Lage der Probe im Messspalt.

Figur 1

Fig. 1

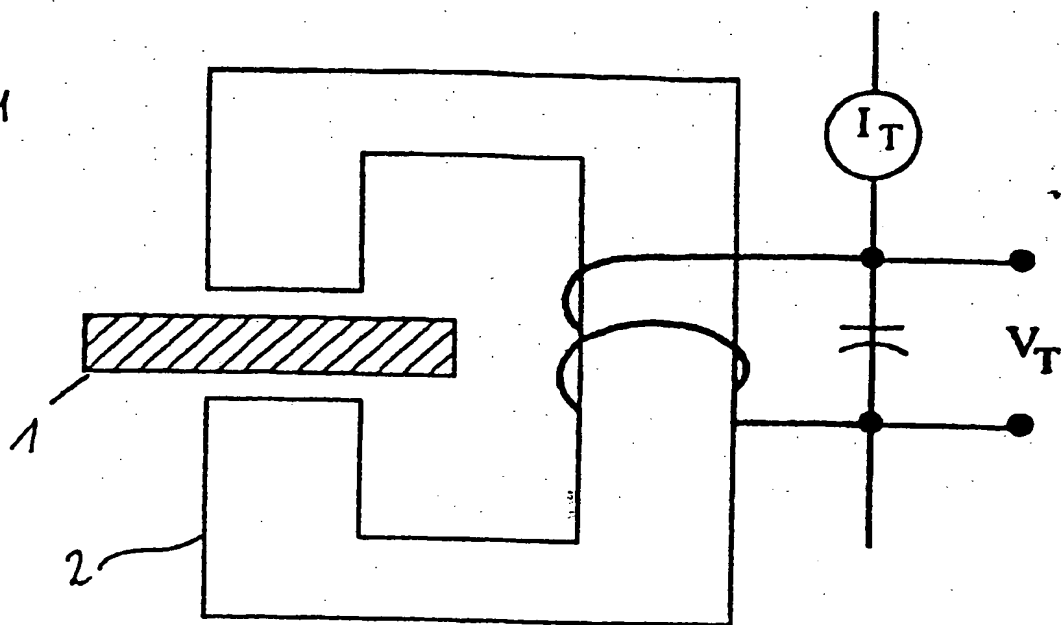
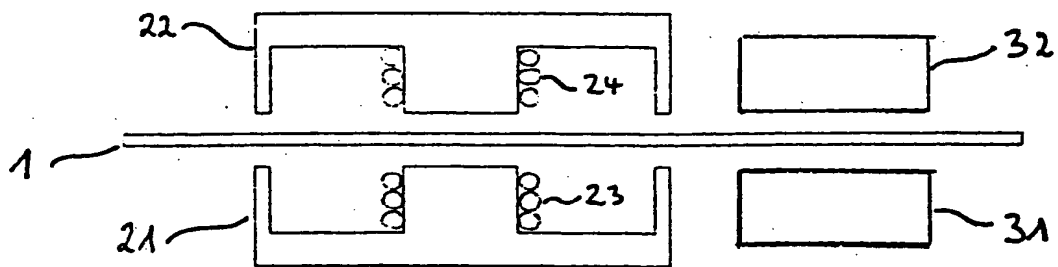


Fig. 2(a)



(b)

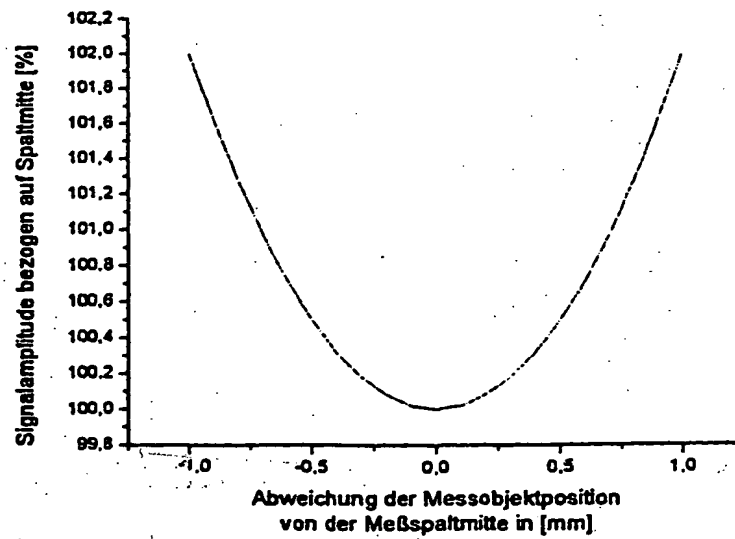
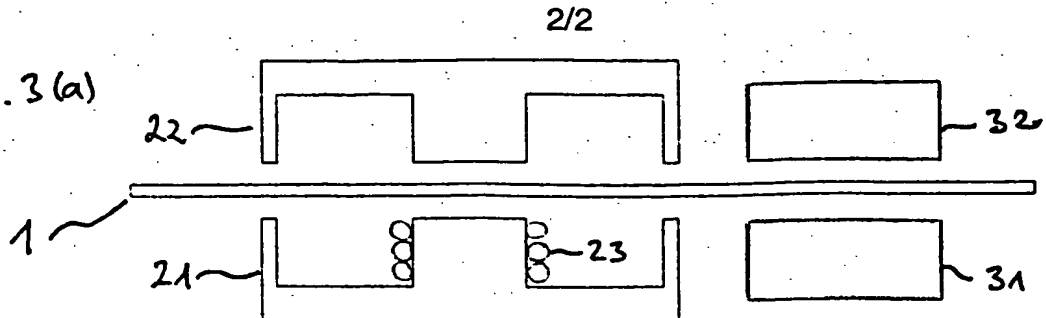


Fig. 3(a)



(b)

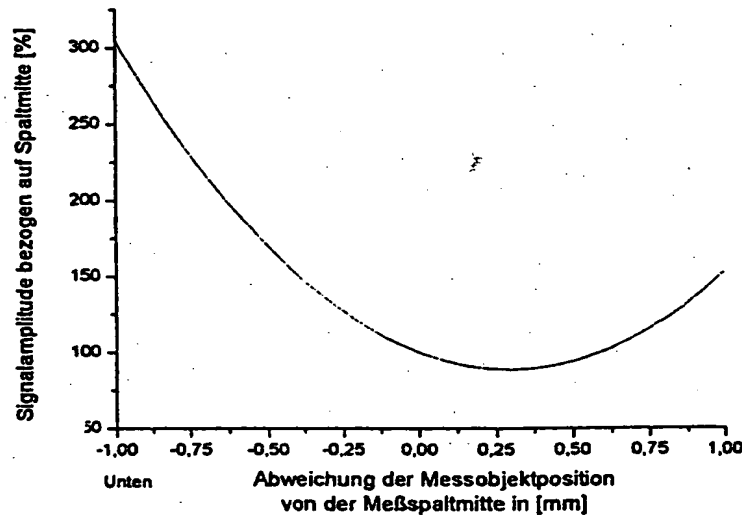
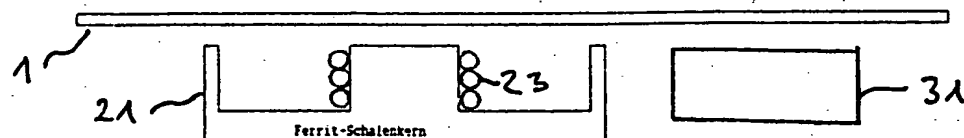


Fig. 4(a)



(b)

